

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-246686

(P2002-246686A)

(43)公開日 平成14年8月30日(2002.8.30)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード*(参考)
H 0 1 S 5/065	6 1 0	H 0 1 S 5/065	6 1 0 5 D 1 1 9
G 1 1 B 7/125		G 1 1 B 7/125	A 5 F 0 7 3
H 0 1 S 5/343	6 1 0	H 0 1 S 5/343	6 1 0

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願2001-37758(P2001-37758)

(22)出願日 平成13年2月14日(2001.2.14)

(71)出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72)発明者 大野 智輝

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(72)発明者 伊藤 茂稔

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(74)代理人 100078282

弁理士 山本 秀策

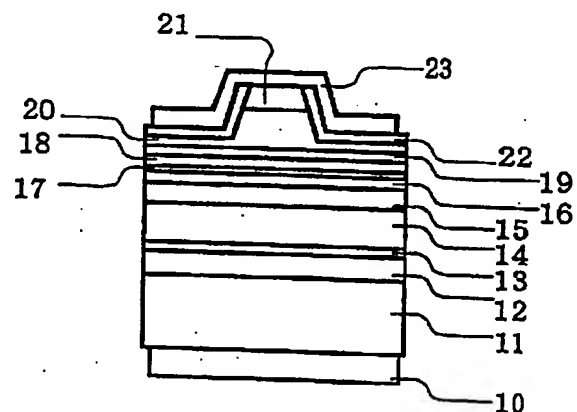
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体発光装置およびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 可飽和吸収層内の光吸収によって生成されたキャリアの寿命を短縮する。

【解決手段】 n型Ga_{0.5}N_{0.5}基板11上に、光の吸収量が飽和する特性を備えているInGa_{0.5}N_{0.5}から成る可飽和吸収層19が設けられており、そのInGa_{0.5}N_{0.5}から成る可飽和吸収層19にC(炭素)が添加(ドーピング)されている。



(2)

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に発光層と光の吸収量が飽和する特性を備えている可飽和吸収層とが設けられ、該可飽和吸収層による自励発振特性を有する半導体発光装置であって、

該可飽和吸収層にC（炭素）が添加（ドーピング）されていることを特徴とする半導体発光装置。

【請求項2】 前記可飽和吸収層にp型不純物元素が添加（ドーピング）されている請求項1に記載の半導体発光装置。

【請求項3】 前記可飽和吸収層が量子井戸層を有する請求項1に記載の半導体発光装置。

【請求項4】 前記可飽和吸収層が前記複数の量子井戸層および複数のバリア層から成る多重量子井戸構造である請求項1に記載の半導体発光装置。

【請求項5】 第1の導電型の窒化物半導体基板上に、第1の成長温度により第1の導電型の窒化物半導体層を形成する工程と、

該第1の導電型の窒化物半導体層上に、該第1の成長温度と異なる第2の成長温度により第1の導電型の窒化物半導体クラッド防止層、さらに、該第1の成長温度により第1の導電型の窒化物半導体クラッド層、第1の導電型の窒化物半導体ガイド層を順次形成する工程と、

該第1の導電型の窒化物半導体ガイド層上に、該第2の成長温度と異なる第3の成長温度により第1の導電型の窒化物半導体活性層を形成する工程と、

該第1の導電型の窒化物半導体活性層上に、該第1の成長温度により第2の導電型の窒化物半導体バリア層、第2の導電型の窒化物半導体ガイド層を順次形成する工程と、

該第2の導電型の窒化物半導体ガイド層上に、該第3の成長温度と異なる第4の成長温度により窒化物半導体の可飽和吸収層を形成する工程と、

該窒化物半導体の可飽和吸収層上に、該第1の成長温度により第2の導電型の窒化物半導体クラッド層、第2の導電型の窒化物半導体コンタクト層を順次形成する工程と、

ドライエッチング処理によりリッジ構造を形成する工程と、

を包含することを特徴とする半導体発光装置の製造方法。

【請求項6】 前記第4の成長温度が700℃以下である請求項5に記載の半導体発光装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光ディスクの情報記録、再生等に使用され低雑音化のための自励発振特性を有する半導体発光装置およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 光ディスクにおける記憶容量の増加にと

2

もなって、光ディスク用光源としては、集光径が小さくでき、より一層情報を高密度にて記録することができる400nm前後の波長の光源が必要とされている。また、光ディスクシステムでは、コスト削減のために、レンズ、ディスク等に対して、安価なプラスチック系の材料の使用が検討されている。しかしながら、このようなプラスチック系の材料は、光の吸収端が最大で390nm程度の波長であるために、光ディスク用光源としては、更なる短波長化を行うためには、材料の検討が必要になり、量産化に対応することが容易ではない。このような短波長の光源には、従来より半導体レーザが使用されており、400nm前後の波長を有する半導体レーザの代表的な材料としては、窒化ガリウム化合物半導体がある。

【0003】 窒化物半導体レーザは、光ディスクシステム等に使用される場合に、光ディスク等の反射点からの戻り光雑音を減少させるため、自励発振特性を備えた構造が用いられている。自励発振を伴う窒化物半導体レーザを実現するには、光の吸収量が飽和する可飽和吸収特性を有する層（以下、可飽和吸収層とする）が、P型クラッド層等に設けられている。

【0004】 図7は、特開平9-191160号公報に開示されている光ディスク用低雑音半導体レーザの代表的な構造を示す断面図である。この公報には、窒化物半導体であるInN（窒化インジウム）とGa_{0.5}N（窒化ガリウム）との混晶であるInGa_{0.5}Nを可飽和吸収層に用いることによって安定な自励発振が得られる低雑音半導体レーザが開示されている。図7に示すように、この半導体レーザは、n型SiC基板70上に、n型AlN層71、n型AlGa_{0.5}Nクラッド層72、n型Ga_{0.5}N光ガイド層73、InGa_{0.5}N量子井戸活性層74、p型Ga_{0.5}N光ガイド層75、p型AlGa_{0.5}Nクラッド層76aが順番に積層されている。p型AlGa_{0.5}Nクラッド層76a上には、InGa_{0.5}N可飽和吸収層78が設けられており、さらに、InGa_{0.5}N可飽和吸収層78上にp型AlGa_{0.5}Nクラッド層76bが設けられている。p型AlGa_{0.5}Nクラッド層76b上には、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層77が設けられている。そして、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層77上には、p型電極79設けられており、また、n型SiC基板70の下部には、n型電極69が設けられている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 このような、特開平9-191160号公報に開示された窒化物半導体レーザは、自励発振可能な光出力の範囲が狭く、光ディスクシステム等において再生用または録画再生用として好適に用いることができないおそれがある。また、このような可飽和吸収層が設けられた窒化物半導体レーザでは、InGa_{0.5}Nを主成分とする可飽和吸収層のキャリアの寿命を短くしなければ十分な可飽和吸収特性が得られない。

50

(3)

3

通常、p型のInGa_N可飽和吸収層には、不純物元素としてMgを添加（ドーピング）することによって、光吸収により生成されたキャリアの再結合を促進させ、キャリアの寿命を短くすることが可能ではあるが、実際には、InGa_N可飽和吸収層に添加（ドーピング）したMgのほぼ全てを電氣的に活性化させることは容易ではない。また、InGa_Nは、キャリアの拡散係数が小さいために、可飽和吸収層において光吸収によって生成されたキャリアが拡散しにくく、見かけ上のキャリアの寿命を短くすることも容易ではない。

【0006】本発明は、このような課題を解決するものであり、その目的は、戻り光雑音を減少させるために、可飽和吸収層内の光吸収によって生成されたキャリアの寿命を短縮して、安定な自励発振特性が得られる半導体発光装置およびその製造方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体発光装置は、基板上に発光層と光の吸収量が飽和する特性を備えている可飽和吸収層とが設けられ、該可飽和吸収層による自励発振特性を有する半導体発光装置であって、該可飽和吸収層にC（炭素）が添加（ドーピング）されていることを特徴とする。

【0008】前記可飽和吸収層にp型不純物元素が添加（ドーピング）されている。

【0009】前記可飽和吸収層が量子井戸層を有する。

【0010】前記可飽和吸収層が前記複数の量子井戸層および複数のバリア層から成る多重量子井戸構造である。

【0011】本発明の半導体発光装置の製造方法は、第1の導電型の窒化物半導体基板上に、第1の成長温度により第1の導電型の窒化物半導体層を形成する工程と、該第1の導電型の窒化物半導体層上に、該第1の成長温度と異なる第2の成長温度により第1の導電型の窒化物半導体クラック防止層、さらに、該第1の成長温度により第1の導電型の窒化物半導体クラッド層、第1の導電型の窒化物半導体ガイド層を順次形成する工程と、該第1の導電型の窒化物半導体ガイド層上に、該第2の成長温度と異なる第3の成長温度により第1の導電型の窒化物半導体活性層を形成する工程と、該第1の導電型の窒化物半導体活性層上に、該第1の成長温度により第2の導電型の窒化物半導体バリア層、第2の導電型の窒化物半導体ガイド層を順次形成する工程と、該第2の導電型の窒化物半導体ガイド層上に、該第3の成長温度と異なる第4の成長温度により窒化物半導体の可飽和吸収層を形成する工程と、該窒化物半導体の可飽和吸収層上に、該第1の成長温度により第2の導電型の窒化物半導体クラッド層、第2の導電型の窒化物半導体コンタクト層を順次形成する工程と、ドライエッチング処理によりリッジ構造を形成する工程と、を包含することを特徴とする。

4

【0012】前記第4の成長温度が700℃以下である。

【0013】

【発明の実施の形態】自励発振は、半導体レーザに注入されたキャリアによって反転分布が生じている活性層（利得領域）と可飽和吸収特性を備えた層である可飽和吸収層とにおけるキャリアおよび光子の相互作用によって生じる。可飽和吸収層に要求される特性は、第1に実質的なバンドギャップが活性層（利得領域）のバンドギャップと同じか、あるいは、わずかに狭いことであり、そのバンドギャップ差の範囲は、窒化物半導体レーザにおいて、 $-0.15\text{ eV} \sim +0.02\text{ eV}$ である。また、吸収量を適切に制御するために、活性層と可飽和吸収層との間隔は、 $0.02\text{ }\mu\text{m} \sim 1.5\text{ }\mu\text{m}$ 程度であることが望ましい。可飽和吸収層に要求される第2の特性は、有効に自励発振を起こさせるために、可飽和吸収層のキャリアの寿命が活性層のキャリアの寿命より短いこと、光の吸収が飽和しやすいこと等である。

【0014】窒化物半導体レーザの重要な特性は、可飽和吸収層に要求される第2の特性である可飽和吸収層内のキャリアの寿命特性である。窒化物系半導体のキャリアの寿命は、最小で数nsと短いことが知られており、活性層と可飽和吸収層とのキャリアの寿命に明確な差を付けるためには、可飽和吸収層に不純物元素を高濃度で添加（ドーピング）すること、また可飽和吸収層における光吸収領域から光吸収領域外へのキャリアの拡散を促進して効率的にキャリアを再結合させて、見かけ上のキャリア寿命を短くすること等が考えられる。

【0015】従来の窒化物半導体レーザでは、前述のように、可飽和吸収層がInGa_Nにより形成されており、通常、p型不純物元素（ドーパント）としてMg等が用いられるが、Mg等の高濃度で添加（ドーピング）を行うこと、および、添加（ドーピング）されたMgのほぼ全てを電氣的に活性化させることが容易ではない。また、光吸収によって可飽和吸収層に生成されたキャリアの寿命を見かけ上、短くするには、生成されたキャリアが数nsのオーダーで光吸収領域外に拡散するような大きな拡散係数を有する可飽和吸収層の材料特性が必要であるが、InGa_N等により形成された可飽和吸収層では、一般に、拡散係数が小さいために可飽和吸収層に生成されたキャリアを十分に拡散させることによってキャリアを再結合させ、キャリアの寿命を短くする効果が得られにくい。

【0016】本発明では、この点について、検討を重ねた結果、可飽和吸収層に不純物元素としてC（炭素）を添加（ドーピング）することによって、低出力から高出力まで自励発振が可能な半導体レーザが得られた。このことは、可飽和吸収層へのC（炭素）の添加（ドーピング）により可飽和吸収層内の欠陥密度の増加が確認され、この欠陥密度の増加が、キャリアの再結合を促進し

(4)

5

キャリア寿命を短くすることに寄与するものと考えられる。InGa_Nの可飽和吸収層にC（炭素）を添加（ドーピング）すると、C（炭素）は、深いエネルギー準位の不純物となり、ほとんど活性化されていないと考えられる。C（炭素）は、原子半径が小さくて、InGa_Nの可飽和吸収層に含まれると結晶性を悪化させる欠陥となり、このC（炭素）により形成された欠陥のエネルギー準位への緩和および無輻射再結合が増加するために、光吸収によって生成したキャリアの寿命を短くすることができると考えられる。

【0017】また、InGa_Nの可飽和吸収層のエピタキシャル成長温度を700℃以下にすると、可飽和吸収層内のC（炭素）の濃度が増加し、それに伴う欠陥密度の増加によるキャリアの再結合が促進されてキャリアの寿命を短縮して低出力から高出力まで自励発振する半導体レーザが得られる。このように、可飽和吸収層のC（炭素）の濃度を増加させることによって、自励発振が可能な光出力の範囲を拡げることができる。

【0018】さらに、本発明では、窒化物半導体レーザにおいて量子井戸層およびバリア層から成る多重量子井戸構造を有する可飽和吸収層を設けることによって、低出力から高出力まで自励発振する半導体レーザが得られる。この場合、量子井戸層には、C（炭素）を添加（ドーピング）して、バリア層には、C（炭素）を添加（ドーピング）しない。バリア層にC（炭素）を添加（ドーピング）しないことにより、バリア層の欠陥密度を減少させるとともに、バリア層の結晶性の向上により多重量子井戸により量子効果が十分に期待され、光吸収によって生成されたキャリアが拡散しやすくなると考えられる。

【0019】尚、不純物元素としてC（炭素）が添加（ドーピング）された可飽和吸収層には、さらにアクセプターとして作用するMg等を添加（ドーピング）しても良い。Mg等を活性化させることによって、可飽和吸収層の輻射遷移確率が向上する。

【0020】図1は、本発明の第1の実施形態である窒化物半導体レーザの横断面図である。n型Ga_N基板11上には、n型Ga_N層12、n型InGa_Nクラック防止層13、n型AlGa_Nクラッド層14、n型Ga_Nガイド層15、n型InGa_N活性層16、p型AlGa_Nバリア層17、p型Ga_Nガイド層18が順番に積層されている。p型Ga_Nガイド層18上には、InGa_Nの可飽和吸収層19が積層され、InGa_Nの可飽和吸収層19上に、p型AlGa_Nクラッド層20が積層されている。p型AlGa_Nクラッド層20は、ストライプ方向と直交する幅方向の中央部が突出したリッジ構造になっており、その突出部に、p型Ga_Nコンタクト層21が積層されている。p型AlGa_Nクラッド層20およびp型Ga_Nコンタクト層21上には、p型Ga_Nコンタクト層21の上面を除いて、絶縁膜22

6

が設けられており、絶縁膜22およびp型Ga_Nコンタクト層21の上面にp型電極23が設けられている。また、n型Ga_N基板11側には、n型電極10が形成されている。

【0021】このように、図1に示す本発明の第1の実施形態である窒化物半導体レーザは、リッジ構造を用いた屈折率導波路を有しており、InGa_Nの可飽和吸収層19は単一量子井戸層になっている。

【0022】図1に示す第1の実施形態である窒化物半導体レーザの製造方法を、次に説明する。尚、以下に示すエピタキシャル成長法は、基板上に結晶膜を成長させる方法であり、VPE（気相エピタキシャル）法、CVD（化学気相デポジション）法、MOVPE（有機金属気相エピタキシャル）法、MOCVD（有機金属化学気相デポジション）法、Halide-VPE（ハロゲン化学気相エピタキシャル）法、MBE（分子線エピタキシャル）法、MOMBE（有機金属分子線エピタキシャル）法、GSMBE（ガス原料分子線エピタキシャル）法、CBE（化学ビームエピタキシャル）法等を含んでいる。

【0023】まず、n型Ga_N基板11を形成する。n型Ga_N基板11は、500μm程度の膜厚のGa_N単結晶膜に数μm間隔で10~50nm程度の段差を設けて、さらに、その上に4μm程度のGa_N単結晶膜をエピタキシャル成長法によって積層させて形成する。このようなGa_N単結晶膜の形成方法は、得られたn型Ga_N基板11基板が有する貫通転移などの履歴を取り除くためである。得られたn型Ga_N基板11は、欠陥密度の高い領域と非常に少ない領域が周期的に繰り返す構造となっており、本発明の窒化物半導体レーザの構造は、欠陥密度の少ない領域に設けられる。

【0024】次に、n型Ga_N層12を、n型Ga_N基板11上にエピタキシャル成長法により積層する。この場合、まず、MOCVD（有機金属化学気相デポジション）装置にn型Ga_N基板11をセットし、V族原料のNH₃とIII族原料のTMGa（トリメチルガリウム）とを用いて、550℃の成長温度で低温Ga_Nバッファ層を成長させ、n型Ga_N基板11上に厚み25nmの低温Ga_Nバッファ層を形成する。さらに、この低温Ga_Nバッファ層上に、1075℃の成長温度に昇温して前述の2種類の原料にSiH₄を加えて、厚み3μmのn型Ga_N層12（Si不純物濃度1×10¹⁸/cm³）を形成する。

【0025】続いて、成長温度を700℃~800℃程度に降温して、III族原料であるTMIn（トリメチルインジウム）の供給を行いながら、n型Ga_N層12上に、n型In_{0.07}Ga_{0.93}N層を成長させ、厚み50nmのn型InGa_Nクラック防止層13を形成する。その後、再び成長温度を1075℃に昇温し、III族原料であるTMAI（トリメチルアルミニウム）を用いて、

(5)

7

n型InGa_{0.9}Nクラッド層13上に、n型Al_{0.1}Ga_{0.9}N層(Si不純物濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$)を成長させ、厚み0.95 μm のn型AlGa_{0.9}Nクラッド層14を形成し、さらに、n型AlGa_{0.9}Nクラッド層14上に、膜厚0.1 μm のn型Ga_{0.9}Nガイド層15を形成する。

【0026】その後、成長温度を730℃に降温して、n型Ga_{0.9}Nガイド層15上に、膜厚4nmのIn_{0.15}Ga_{0.85}N量子井戸層と、膜厚6nmのIn_{0.05}Ga_{0.95}Nバリア層とを交互に形成して、4層のバリア層と3層の量子井戸層とが周期的に積層された多重量子井戸構造の活性層を成長させ、n型InGa_{0.9}N活性層16を形成する。尚、n型InGa_{0.9}N活性層16は、バリア層を積層後、井戸層を積層させるまでの間、または、井戸層を積層後、バリア層を積層させるまでの間において1秒～180秒の結晶成長の中断を行っても良い。この操作によって、n型InGa_{0.9}N活性層16が有する各層の平坦性が向上し発光半値幅が減少する。

【0027】次に、成長温度を再び1050℃まで昇温して、n型InGa_{0.9}N活性層16上に、p型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層を成長させ、厚み18nmのp型AlGa_{0.9}Nバリア層17を形成し、さらに、p型AlGa_{0.9}Nバリア層17上に、膜厚0.1 μm のp型Ga_{0.9}Nガイド層18を形成する。p型AlGa_{0.9}Nバリア層17およびp型Ga_{0.9}Nガイド層18には、p型不純物元素としてMgを $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ の濃度で添加する。

【0028】次に、成長温度を650℃に降温して、p型Ga_{0.9}Nガイド層18上にInGa_{0.9}Nから成る可飽和吸収層19を形成する。InGa_{0.9}Nの可飽和吸収層19には、不純物元素としてC(炭素)を $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以上添加(ドーピング)する。InGa_{0.9}Nの可飽和吸収層19に添加する不純物元素(ドーパント)のC(炭素)の原料には、アセチレンを用いたがプロパン等でもよく、C(炭素)を添加(ドーピング)できるならば、特定の原料にこだわる必要はない。InGa_{0.9}Nの可飽和吸収層19の厚みは、光吸収特性を考慮して3nmとする。但し、Inの混晶比等の検討結果よりInGa_{0.9}Nの可飽和吸収層19の厚みは、1nm～10nm程度であればよい。また、ウエハのPL(フォトルミネッセンス)測定によって、n型InGa_{0.9}N活性層16からのPL発光ピーク波長と、InGa_{0.9}Nの可飽和吸収層19からのPL発光ピーク波長との差が-0.15eV～+0.02eV以内となるように設定されて、n型InGa_{0.9}N活性層16およびInGa_{0.9}Nの可飽和吸収層19の実質的なバンドギャップがほぼ等しくなるように調整する。

【0029】続いて、成長温度を再び1050℃まで昇温して、InGa_{0.9}Nの可飽和吸収層19上に、p型Al_{0.1}Ga_{0.9}N層を成長させ、厚み0.5 μm のp型Al

8

Ga_{0.9}Nクラッド層20を形成し、さらに、p型AlGa_{0.9}Nクラッド層20上に、厚み0.1 μm のp型Ga_{0.9}Nコンタクト層21を形成する。p型AlGa_{0.9}Nクラッド層20およびp型Ga_{0.9}Nコンタクト層21には、p型不純物元素としてMgを $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ の濃度で添加する。前述したように、窒化物半導体レーザの各層を構成する元素の各原料には、TMGa、TMAI、TMIn、NH₃等を用いており、また、各層に添加する不純物元素(ドーパント)の各原料には、Cp₂Mg(ビスシクロペンタジエニルマグネシウム)、SiH₄等を用いている。

【0030】p型Ga_{0.9}Nコンタクト層21の形成後、p型AlGa_{0.9}Nクラッド層20およびp型Ga_{0.9}Nコンタクト層21を、幅方向の中央部のみが残るようにドライエッチングによって除去し、リッジ構造を形成する。その後、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層21の上面のみが露出するように、p型AlGa_{0.9}Nクラッド層20およびp型Ga_{0.9}Nコンタクト層21を絶縁膜22によって被覆する。その後、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層21の露出した上面と絶縁膜22上面とにわたってp型電極(Pd/Mo/Au)23を形成する。p型電極23は、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層21の上面と電気的に導通している。

【0031】その後、n型Ga_{0.9}N基板11の裏面側を研磨またはエッチングすることにより、n型Ga_{0.9}N基板11の一部を除去しウエハの厚みを100～150 μm 程度までに薄く調整する。この操作は、後工程でウエハを分割し個々の半導体レーザチップにすることを容易にするための操作である。特に、レーザ端面のミラーを分割時に形成する場合には、80～120 μm 程度に薄く調整することが望ましい。本発明の第1の実施形態では、研削機および研磨機を用いてウエハの厚みを100 μm に調整したが、研磨機のみで調整してもよい。ウエハの裏面は、研磨機により研磨されているため平坦である。

【0032】n型Ga_{0.9}N基板11の裏面の研磨後、n型Ga_{0.9}N基板11の裏面に薄い金属膜を蒸着し、Hf/AI/Mo/Auの積層構造を有するn型電極10を形成する。このような薄い金属膜を、膜厚の制御を行いつつ形成する方法としては、真空蒸着法が適しており、本発明の第1の実施形態においてもこの方法を用いた。但し、n型電極10を形成する方法は、イオンプレーティング法、スパッタ法等の他の方法を用いても良い。p型電極23およびn型電極10は、導通良好なオーミック電極を形成するため、それぞれ金属膜形成後500℃の温度によりアニール処理される。

【0033】このようにして製造された半導体素子は、次の方法によって分割される。まず、ウエハの表面からダイヤモンドポイントでスクライブラインを入れ、ウエハに、適宜、力を加えて、スクライブラインに沿ってウエハを分割する。尚、スクライブラインは、ウエ

(6)

9

ハーの裏面から入れてもよい。ウェハーを分割する他の方法としては、ワイヤソーまたは薄板ブレードを用いて傷入れもしくは切断を行うダイシング法、エキシマレーザ等のレーザ光の照射加熱とその後の急冷により照射部にクラックを生じさせこれをスクライブラインとするレーザスクライビング法、高エネルギー密度のレーザ光を照射し、この部分を蒸発させて溝入れ加工を行うレーザアブレーション法等も適用することができ、いずれの場合にも適切にウェハーを分割することができる。

【0034】さらに、本発明の第1の実施形態である窒化物半導体レーザでは、半導体レーザ素子の2つの端面において、一方の端面に50%以下の反射率を有する反射膜を形成し、他方の端面に80%以上の反射率を有する反射膜を形成し、非対称コーティングをする。これにより、30mW以上の高出力動作させた場合でも安定した基本横モードが得られる。

【0035】次に、ダイボンディング法により、窒化物半導体レーザチップをシステム等のヒートシンク上にマウントし窒化物半導体レーザ装置が得られる。窒化物半導体レーザチップは、n型電極10をヒートシンクと接合させるジャンクアップによって強固に接着した。

【0036】このようにして製造された窒化物半導体レーザの諸特性を調べたところ、次の結果が得られた。窒化物半導体レーザの共振器長は、500 μ mであり、ストライプ幅は、2 μ mである。この窒化物半導体レーザは、室温25℃において、レーザ発振開始点となる閾値電流35mAで連続発振を行い、その時の発振波長は405 \pm 5nmであった。また、遠視野像 (Far Field Pattern) を観察すると、遠視野像はリッ*

10

*ブル等が無く、レンズ等によって確実に集光できることが確認された。そして、InGa_Nの可飽和吸収層19内のC (炭素) の濃度を測定すると、 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ であった。

【0037】図2は、このような窒化物半導体レーザの光出力を変化させて自励発振特性を調べたグラフである。図2の横軸は、InGa_Nの可飽和吸収層19内に添加されるC (炭素) の濃度を示し、縦軸は、各条件における自励発振が可能な最大光出力を示している。図2に示すように、InGa_Nの可飽和吸収層19内に添加されるC (炭素) の濃度が低下するにつれて、自励発振が可能な最大光出力が低下する。この結果より、InGa_Nの可飽和吸収層19には、不純物元素としてC (炭素) を $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以上の濃度で添加することにより、窒化物半導体レーザにおいて所定の光出力を有する自励発振が得られた。

【0038】また、表1には、InGa_Nの可飽和吸収層19を成長温度650℃および750℃で成長させた場合の自励発振が可能な最大光出力を示す。表1より、InGa_Nの可飽和吸収層19の成長温度が650℃の場合には、光出力が5mWから高出力の20mWまで自励発振が得られ、成長温度が750℃の場合には、光出力が5mWから10mWまでしか自励発振が得られなかった。この結果、InGa_Nの可飽和吸収層19の成長温度が高すぎると、自励発振特性が悪化するということが確認できた。

【0039】

【表1】

	光出力				
	5mW	10mW	15mW	20mW	25mW
成長温度 650℃	○	○	○	○
成長温度 750℃	○

【0040】次に、この窒化物半導体レーザを光ディスク用光源に用いた場合の戻り光に対する雑音特性を調べた。光ディスクシステムに搭載するときの雑音は、図6に示す自動ノイズ測定器を用いて擬似的に測定した。半導体レーザ201から出射されたレーザ光は、レンズ204でコリメート (平行にする) され、ハーフミラー203により2ビームに分岐される。ハーフミラー203を透過した透過光は、NDフィルター206、レンズ205を経て反射鏡202に集光される。反射鏡202は、光ディスク等と等価であり、反射率はNDフィルターで変更できる。反射光は、前述の光路を逆方向に帰還し、半導体レーザ201に集光される。このように、自動ノイズ測定器は、光ディスクに半導体レーザを搭載したシステムに置き換えたものであり、戻り光雑音を含んだ相対雑音強度 (RIN: Relative Intensity Noise) を測定した。尚、光出力は、受光素子207によって検出した。

【0041】まず、図6の自動ノイズ測定器を用いて、光出力が5mWの場合において、戻り光が0.1%~10%の時の雑音を調べたところ、 $RIN_{\text{max}} < -135 [\text{dB}/\text{Hz}]$ であることが分かった。次に、光出力が高出力の場合の戻り光に対する雑音特性を調べるために、光出力を20mW程度にしたところ、同様に $RIN_{\text{max}} < -135 [\text{dB}/\text{Hz}]$ であり、光ディスクシステムの応用に適していることが確認できた。

【0042】尚、本発明の第1の実施形態の窒化物半導体レーザでは、p型ガイド層とp型クラッド層との間にInGa_Nの可飽和吸収層19を挿入して形成しているが、pガイド層内またはpクラッド層内にInGa_Nの可飽和吸収層19を挿入して形成してもよい。pガイド層内またはpクラッド層内にInGa_Nの可飽和吸収層19を挿入する場合には、光分布を考慮してInGa_Nの可飽和吸収層19の厚みを変える必要がある。また、InGa_Nの可飽和吸収層19の成長温度は、n型In

(7)

11

GaN活性層16の成長温度以下であればよい。また、リッジ形成により除去された部分に別の物質で埋め込み領域を形成してもよい。また、InGaNの可飽和吸収層19は、多重量子井戸層であってもよい。さらに、n型InGaN活性層16は、GaNA_s、GaN_P、InAlGaNA_sP等の材料によって形成してもよい。

【0043】図3は、本発明の第2の実施形態である窒化物半導体レーザの横断面図である。n型GaN基板31上には、n型GaN層32、n型InGaNクラック防止層33、n型AlGaNクラッド層34、n型GaNガイド層35、n型GaNA_s活性層36、p型AlGaNバリア層37、p型GaNガイド層38が順番に積層されている。p型GaNガイド層38上には、InGaNの可飽和吸収層39が積層され、InGaNの可飽和吸収層39上に、p型AlGaNクラッド層40が積層されている。p型AlGaNクラッド層40は、ストライプ方向と直交する幅方向の中央部が突出したリッジ構造になっており、その突出部上に、p型GaNコンタクト層41が積層されている。p型AlGaNクラッド層40およびp型GaNコンタクト層41上には、p型GaNコンタクト層41の上面を除いて、絶縁膜42が設けられており、絶縁膜42およびp型GaNコンタクト層41の上面にp型電極43が設けられている。また、n型GaN基板31側には、n型電極30が形成されている。尚、可飽和吸収層は、InGaNから成る単一量子井戸層になっており、第1の実施形態の窒化物半導体レーザと同様に不純物元素としてC（炭素）が添加（ドーピング）されているとともに、Mgも添加（ドーピング）されている。

【0044】このように、図3に示す本発明の第2の実施形態である窒化物半導体レーザは、図1に示す第1の実施形態の窒化物半導体レーザと同一のリッジ構造を用いた屈折率導波路を有している半導体レーザである。図1に示す第1の実施形態の窒化物半導体レーザと図3に示す第2の実施形態の窒化物半導体レーザとの相違点は、第1の実施形態の窒化物半導体レーザの活性層がn型InGaN活性層16であり、第2の実施形態の窒化物半導体レーザの活性層はn型GaNA_s活性層36であり、それぞれ構成元素が異なるのみである。

【0045】図3に示す第2の実施形態である窒化物半導体レーザは、図1の第1の実施形態である窒化物半導体レーザと同様の製造方法を用いて製造される。第2の実施形態である窒化物半導体レーザの製造条件は、InGaNの可飽和吸収層39の形成条件のみ第1の実施形態である窒化物半導体レーザの製造条件と異なる。InGaNの可飽和吸収層39は、成長温度が700℃でエピタキシャル成長法によって形成され、形成時に不純物元素としてC（炭素）およびMgがドーピングされている。不純物元素の原料としては、前述した第1の実施形態である窒化物半導体レーザと同様に、C（炭素）の原

12

料としてアセチレンを用い、Mgの原料としてCp2Mgを用いている。不純物元素として添加されるC（炭素）およびMgの濃度は、それぞれ $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ である。その他の製造条件は、前述した第1の実施形態である窒化物半導体レーザの製造条件と同一である。

【0046】このようにして製造された窒化物半導体レーザの諸特性を調べたところ、次の結果が得られた。窒化物半導体レーザの共振器長は、500μmであり、ストライプ幅は、2μmである。この窒化物半導体レーザは、室温25℃において、レーザ発振開始点となる閾値電流36mAで連続発振を行い、その時の発振波長は $405 \pm 5 \text{ nm}$ であった。また、遠視野像を観察すると、遠視野像はリップル等が無く、レンズ等によって確実に集光できることが確認された。そして、InGaNの可飽和吸収層19内のC（炭素）およびMgの濃度を測定すると、それぞれ $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ であった。

【0047】このような第2の実施形態の窒化物半導体レーザの光出力を変化させて自動発振特性を調べたところ、第1の実施形態の窒化物半導体レーザと同様に、InGaNの可飽和吸収層39内に添加されるC（炭素）の濃度が低下するにつれて、自動発振が可能な最大光出力が低下することが確認できた。この結果より、InGaNの可飽和吸収層39には、不純物元素としてC（炭素）を $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上の濃度で添加するとともに、Mgを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上の濃度で添加することによって、所定の光出力を有する自動発振が得られることが確認できた。

【0048】次に、第2の実施形態の窒化物半導体レーザを光ディスク光源に用いた場合の戻り光に対する雑音特性を第1の実施形態の窒化物半導体レーザと同様に調べた。光ディスクシステムに搭載するときの雑音は、図6に示す自動ノイズ測定器を用いて擬似的に測定した。まず、図6の自動ノイズ測定器を用いて、光出力が5mWの場合において、戻り光が0.1%～10%の時の雑音を調べたところ、 $RIN_{\text{max}} < -137 [\text{dB} / \text{Hz}]$ であることが分かった。次に、光出力が高出力の場合の戻り光に対する雑音特性を調べるために、光出力を20mW程度にしたところ、同様に $RIN_{\text{max}} < -137 [\text{dB} / \text{Hz}]$ であり、光ディスクシステムの応用に適していることが確認できた。

【0049】尚、本発明の第2の実施形態の窒化物半導体レーザでは、p型ガイド層とp型クラッド層との間にInGaNの可飽和吸収層39を挿入して形成しているが、p型ガイド層内またはp型クラッド層内にInGaNの可飽和吸収層39を挿入して形成してもよい。p型ガイド層内またはp型クラッド層内にInGaNの可飽和吸収層39を挿入する場合には、光分布を考慮してInGaNの可飽和吸収層39の厚みを変える必要があ

(8)

13

る。また、InGa_Nの可飽和吸収層39の成長温度は、前述の温度に限定されない。また、リッジ形成により除去された部分に別の物質で埋め込み領域を形成してもよい。また、InGa_Nの可飽和吸収層39は、多重量子井戸層であってもよい。さらに、n型GaNA_s活性層36は、InGa_N、GaNP、InAlGaNA_sP等の材料によって形成してもよい。

【0050】図4は、本発明の第3の実施形態である窒化物半導体レーザの横断面図である。第3の実施形態の窒化物半導体レーザは、埋め込みリッジ構造が用いられている。n型Ga_N基板51には、n型Ga_N層52、n型InGa_Nクラッド防止層53、n型AlGa_Nクラッド層54、n型Ga_Nガイド層55、n型InGa_N活性層56、p型AlGa_Nバリア層57、p型Ga_Nガイド層58が順番に積層されている。p型Ga_Nガイド層58上には、InGa_NおよびGa_Nから成る可飽和吸収層59が積層され、InGa_NおよびGa_Nから成る可飽和吸収層59上に、p型AlGa_Nクラッド層60が積層されている。

【0051】p型AlGa_Nクラッド層60は、ストライプ方向と直交する幅方向の中央部が突出したリッジ構造になっており、その突出部上に、p型Ga_Nコンタクト層61が積層されている。p型AlGa_Nクラッド層60およびp型Ga_Nコンタクト層61は、p型Ga_Nコンタクト層61の上面を除いて、それらの周囲を埋め込むようにn型ブロック層63が設けられており、n型ブロック層63およびp型Ga_Nコンタクト層61の上面にp型電極62が設けられている。また、n型Ga_N基板51側には、n型電極50が形成されている。InGa_NおよびGa_Nから成る可飽和吸収層59は、図5に示すようにInGa_Nの量子井戸層101とGa_Nのバリア層102とが交互に積層された多重量子井戸構造である。また、InGa_Nの量子井戸層101は、不純物元素としてC（炭素）が添加されており、Ga_Nのバリア層102は、C（炭素）が添加されていない。

【0052】図4に示す第3の実施形態の窒化物半導体レーザの構造では、InGa_NおよびGa_Nから成る可飽和吸収層59において、光吸収により生成されたキャリアは、InGa_NおよびGa_Nから成る可飽和吸収層59内を光吸収領域外に拡散した後に、InGa_Nの量子井戸層101およびGa_Nのバリア層102で再結合するとともに、n型ブロック層63への拡散も生じるために、光吸収領域での見かけ上のキャリアの寿命を短くすることができる。このように、不純物元素を高濃度に添加されたn型ブロック層63への拡散により、見かけ上のキャリアの寿命を短くする場合には、InGa_NおよびGa_Nから成る可飽和吸収層59は、キャリアが拡散しやすい大きな拡散係数を有する必要がある。第3の実施形態の窒化物半導体レーザでは、InGa_NおよびGa_Nから成る可飽和吸収層59を多重量子井戸構造で

14

形成することによって、InGa_NおよびGa_Nから成る可飽和吸収層59における拡散係数の増加を可能にしている。

【0053】図4に示す第3の実施形態の窒化物半導体レーザの構造は、n型ブロック層63によってp型AlGa_Nクラッド層60およびp型Ga_Nコンタクト層61が埋め込まれた埋め込みリッジ構造であるために、図1に示す第1の実施形態の窒化物半導体レーザのように絶縁膜22が設けられていないが、製造方法においては、図1に示す第1の実施形態の窒化物半導体レーザとほぼ同様の方法が用いられる。したがって、第3の実施形態の窒化物半導体レーザは、p型AlGa_Nバリア層57上にp型Ga_Nガイド層58を積層するまでは、第1の実施形態の窒化物半導体レーザの製造条件と同一の製造条件である。

【0054】p型AlGa_Nバリア層57上へのp型Ga_Nガイド層58を積層すると、その後に、成長温度を950℃に降温して、p型Ga_Nガイド層58上に、InGa_NおよびGa_Nから成る可飽和吸収層59内のGa_Nのバリア層102を成長させて形成し、さらに、成長温度を680℃に降温して、Ga_Nのバリア層102上にInGa_Nの量子井戸層101を成長させて形成する。この時、InGa_Nの量子井戸層101には、不純物元素（ドーパント）としてC（炭素）を $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上の濃度で添加する。このように、Ga_Nのバリア層102上に、InGa_Nの量子井戸層101を積層する操作を繰り返して、3層のInGa_Nの量子井戸層101と4層のGa_Nのバリア層102とが、それぞれ交互に周期的に積層された可飽和吸収層59を形成する。InGa_Nの量子井戸層101の厚みは2nmであり、Ga_Nのバリア層102の厚みは4nmである。尚、InGa_Nの量子井戸層101およびGa_Nのバリア層102の厚みの検討結果では、InGa_Nの量子井戸層101の厚みは、量子効果の現れる1nm～10nmであればよく、Ga_Nのバリア層102の厚みは、1nm～10nmであればよく、InGa_Nの量子井戸層101による多重量子井戸層は、3層～6層程度であればよい。

【0055】また、ウェハのPL（フォトルミネッセンス）測定によって、n型InGa_N活性層56からのPL発光ピーク波長と、InGa_NおよびGa_Nから成る可飽和吸収層59からのPL発光ピーク波長との差が-0.15eV～+0.02eV以内となるように設定されて、n型InGa_N活性層56およびInGa_NおよびGa_Nから成る可飽和吸収層59の実質的なバンドギャップがほぼ等しくなるように調整する。尚、Ga_Nのバリア層102はInGa_Nにより形成されてもよい。

【0056】続いて、第1の実施形態の窒化物半導体レーザと同様に、InGa_NおよびGa_Nから成る可飽和

(9)

15

吸収層59上にp型AlGaInクラッド層60およびp型GaInコンタクト層61を形成し、p型GaInコンタクト層61を形成後、p型AlGaInクラッド層60およびp型GaInコンタクト層61を幅方向の中央部のみ残るようにドライエッチングによって除去し、リッジ構造部分を形成する。その後、このリッジ構造部分を埋め込むようにn型ブロック層63をエピタキシャル成長法によってInGaInおよびGaInから成る可飽和吸収層59上に形成する。n型ブロック層63には、不純物元素（ドーパント）としてSiを添加しており、添加するSiの濃度は $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上であればよい。この工程以降の製造条件は、第1の実施形態の窒化物半導体レーザと同一条件で行った。

【0057】このようにして製造された窒化物半導体レーザの諸特性を調べたところ、次の結果が得られた。窒化物半導体レーザの共振器長は、 $400 \mu\text{m}$ であり、ストライプ幅は、 $3 \mu\text{m}$ である。この窒化物半導体レーザは、室温 25°C において、レーザ発振開始点となる閾値電流 38mA で連続発振を行い、その時の発振波長は $405 \pm 5 \text{nm}$ であった。また、遠視野像を観察すると、遠視野像はリップル等が無く、レンズ等によって確実に集光できることが確認された。そして、InGaInおよびGaInから成る可飽和吸収層59内のInGaInの量子井戸層101のC（炭素）の濃度を測定すると、 $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ であった。また、InGaInおよびGaInから成る可飽和吸収層59内のGaInのバリア層102では、C（炭素）は検出されなかった。

【0058】このような第3の実施形態の窒化物半導体レーザの光出力を変化させて自励発振特性を第1の実施形態の窒化物半導体レーザと同様に調べたところ、第1の実施形態の窒化物半導体レーザよりも高出力まで自励発振が確認され、自励発振が可能な最大光出力は、 35mW であった。

【0059】次に、第3の実施形態の窒化物半導体レーザを光ディスク用光源に用いた場合の反射戻り光に対する雑音特性を第1の実施形態の窒化物半導体レーザと同様に調べた。光ディスクシステムに搭載するときの雑音は、図6に示す自動ノイズ測定器を用いて擬似的に測定した。まず、図6に示す自動ノイズ測定器を用いて、光出力が 5mW の場合において、戻り光が $0.1\% \sim 10\%$ の時の雑音を調べたところ、 $RIN_{\text{max}} < -137 [\text{dB}/\text{Hz}]$ であることが分かった。さらに、光出力が高出力の場合の反射戻り光に対する雑音特性を調べるために、光出力を 30mW 程度にしたところ、同様に $RIN_{\text{max}} < -142 [\text{dB}/\text{Hz}]$ であり、録画再生等の光ディスクシステムの応用に適していることが確認できた。

【0060】InGaInおよびGaInから成る可飽和吸収層59内のInGaInの量子井戸層101に添加されるC（炭素）の濃度を検討すると、C（炭素）を 1×1

16

$0.17 / \text{cm}^3$ 以上添加すればよく、また、この条件においてInGaInの量子井戸層101およびGaInのバリア層102に、不純物元素としてMg等を添加してもよいという結果が得られた。このようにして、低出力から高出力まで自励発振が可能な窒化物半導体レーザが得られた。

【0061】尚、本発明の第3の実施形態の窒化物半導体レーザでは、p型ガイド層とp型クラッド層との間にInGaInおよびGaInから成る可飽和吸収層59を挿入して形成しているが、p型ガイド層内またはp型クラッド層内にInGaInおよびGaInから成る可飽和吸収層59を挿入して形成してもよい。p型ガイド層内またはp型クラッド層内にInGaInおよびGaInから成る可飽和吸収層59を挿入する場合には、InGaInおよびGaInから成る可飽和吸収層59とn型ブロック層63とが非接触状態となり、光吸収によって生成されたキャリアの再結合が遅くなり、自励発振が可能な光出力の範囲は狭くなるが、第1の実施形態の窒化物半導体レーザと同等以上の自励発振が可能な光出力の範囲が確認されている。また、この場合、光分布を考慮してInGaInおよびGaInから成る可飽和吸収層59内に形成するInGaInの量子井戸層101の層数を変える必要がある。

【0062】

【発明の効果】本発明の半導体発光装置は、基板上に発光層と光の吸収量が飽和する特性を備えている可飽和吸収層とが設けられ、可飽和吸収層による自励発振特性を有しており、その可飽和吸収層にC（炭素）が添加（ドーピング）されることによって、可飽和吸収層内の光吸収によって生成されたキャリアの寿命を短縮して、安定な自励発振特性が得られる。

【0063】本発明の半導体発光装置の製造方法は、このような半導体発光装置を容易に製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態である窒化物半導体レーザの横断面図である。

【図2】本発明の実施形態である窒化物半導体レーザのC（炭素）濃度に対する最大光出力を示すグラフである。

【図3】本発明の第2の実施形態である窒化物半導体レーザの横断面図である。

【図4】本発明の第3の実施形態である窒化物半導体レーザの横断面図である。

【図5】図4の可飽和吸収層の詳細断面図である。

【図6】窒化物半導体レーザの雑音特性を調べる自動ノイズ測定器を示す概略図である。

【図7】従来の半導体レーザの構造断面図である。

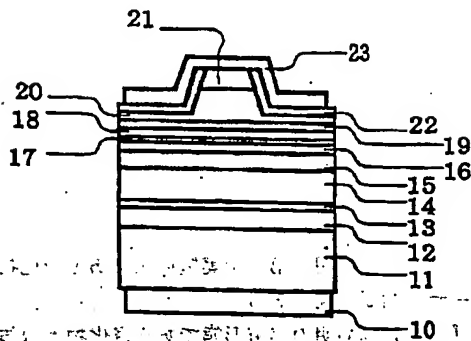
【符号の説明】

10 n型電極

(10)

- 17
- 1 1 n型Ga_{0.4}N基板
 - 1 2 n型Ga_{0.4}N層
 - 1 3 n型InGa_{0.4}Nクラッド防止層
 - 1 4 n型AlGa_{0.4}Nクラッド層
 - 1 5 n型Ga_{0.4}Nガイド層
 - 1 6 n型InGa_{0.4}N活性層
 - 1 7 p型AlGa_{0.4}Nバリア層
 - 1 8 p型Ga_{0.4}Nガイド層
 - 1 9 可飽和吸収層
 - 2 0 p型AlGa_{0.4}Nクラッド層
 - 2 1 p型Ga_{0.4}Nコンタクト層
 - 2 2 絶縁膜
 - 2 3 p型電極
 - 3 0 n型電極
 - 3 1 n型Ga_{0.4}N基板
 - 3 2 n型Ga_{0.4}N層
 - 3 3 n型InGa_{0.4}Nクラッド防止層
 - 3 4 n型AlGa_{0.4}Nクラッド層
 - 3 5 n型Ga_{0.4}Nガイド層
 - 3 6 n型Ga_{0.4}NAs活性層
 - 3 7 p型AlGa_{0.4}Nバリア層
 - 3 8 p型Ga_{0.4}Nガイド層
 - 3 9 可飽和吸収層
 - 4 0 p型AlGa_{0.4}Nクラッド層
 - 4 1 p型Ga_{0.4}Nコンタクト層

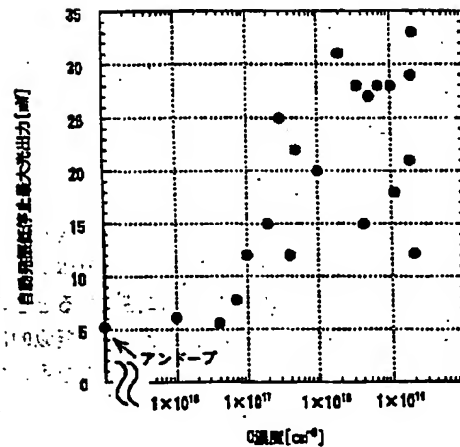
【図1】



18

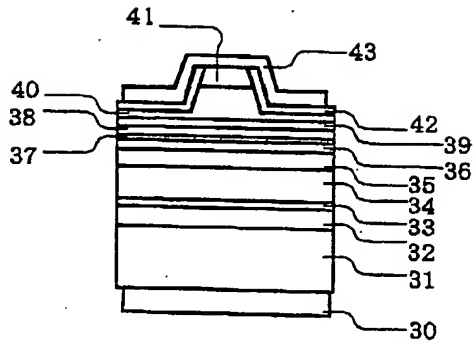
- 4 2 絶縁膜
- 4 3 p型電極
- 5 0 n型電極
- 5 1 n型Ga_{0.4}N基板
- 5 2 n型Ga_{0.4}N層
- 5 3 n型InGa_{0.4}Nクラッド防止層
- 5 4 n型AlGa_{0.4}Nクラッド層
- 5 5 n型Ga_{0.4}Nガイド層
- 5 6 n型InGa_{0.4}N活性層
- 10 5 7 p型AlGa_{0.4}Nバリア層
- 5 8 p型Ga_{0.4}Nガイド層
- 5 9 可飽和吸収層
- 6 0 p型AlGa_{0.4}Nクラッド層
- 6 1 p型Ga_{0.4}Nコンタクト層
- 6 2 p型電極
- 6 3 n型ブロック層
- 10 1 量子井戸層
- 10 2 バリア層
- 20 1 半導体レーザ
- 20 2 反射鏡
- 20 3 ハーフミラー
- 20 4 レンズ
- 20 5 レンズ
- 20 6 NDフィルター
- 20 7 受光素子

【図2】

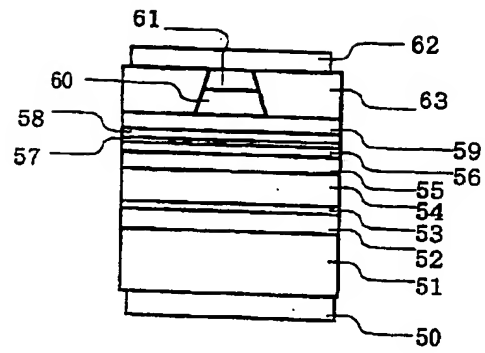


(11)

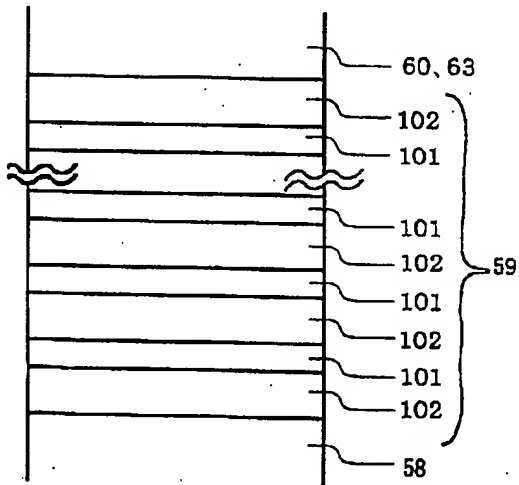
【図3】



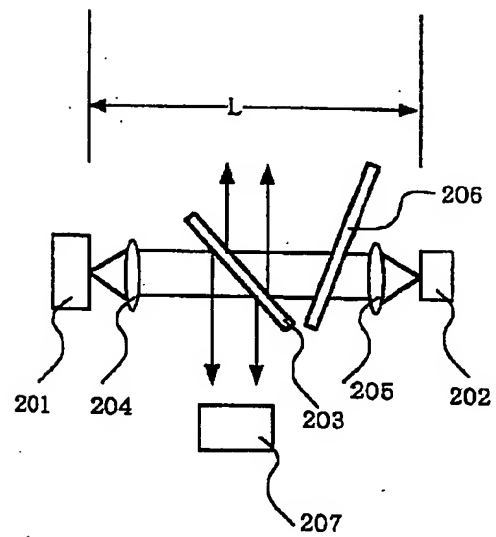
【図4】



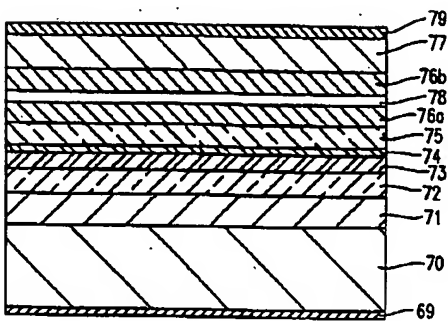
【図5】



【図6】



【図7】



(12)

フロントページの続き

F ターム(参考) 5D119 AA50 FA02 FA17 NA04
5F073 AA13 AA45 AA51 AA55 AA71
AA74 BA06 CA07 CB02 CB07
CB19 CB22 DA05 DA24 EA29
HA10